

CT 760050

CROISEMENT DIALLÈLE ENTRE VARIÉTÉS DE COTONNIERS AMÉRICAINS OU AFRICAINS.

COMPORTEMENT DE SIX CARACTÉRISTIQUES DE LA FIBRE, APPROCHE DES STRUCTURES GÉNÉTIQUES ET IMPLICATIONS POSSIBLES POUR L'AMÉLIORATION

par

B. CATELAND* et **J. SCHWENDIMAN***

RÉSUMÉ

A la suite d'un croisement diallèle effectué à partir de quatre variétés d'origine africaine et quatre variétés d'origine américaine, six caractères quantitatifs (rendement-fibre, longueur de fibre, indice micronaire, ténacité au stélomètre, ténacité Pressley et allongement) ont été analysés selon les modèles de GRIFFING et de HAYMAN.

L'étude des aptitudes à la combinaison met en évidence la prépondérance du bon équilibre de la balance génétique interne pour la plupart des caractères.

L'analyse des composants génétiques donnent des variances additives toujours significatives. Excepté pour l'allongement, l'héritabilité est relativement importante pour les autres caractères.

Les résultats fournissent des informations sur le matériel génétique étudié. Les variétés d'origine américaine constituent un ensemble génétiquement homogène, ce qui n'est pas le cas des variétés africaines dont, par ailleurs, les performances sont plus élevées. L'éloignement des structures génétiques entre les deux groupes est encore plus conséquent qu'il ne l'est à l'intérieur du groupe africain.

Sur le plan pratique, l'exploitation des bonnes balances internes semble être la voie pour améliorer ce matériel en Côte d'Ivoire, alors qu'on pourrait envisager l'exploitation des balances de relations dans les localités où l'allogamie n'est pas négligeable.

Au stade actuel de l'amélioration du cotonnier, il serait fort utile de cumuler sur une même plante, d'une part, les caractéristiques de port que possèdent les variétés américaines et, d'autre part, certains facteurs de productivité et de technologie de la fibre présents chez les variétés sélectionnées en Afrique. Dans ce but, on a retenu quatre variétés américaines parmi les plus répandues et quatre variétés africaines largement diffusées, afin de confronter les produits issus de leur croisement selon un schéma diallèle. L'expérience rapportée ici visait à dresser le bilan du fonctionnement génétique de divers caractères utiles du cotonnier, afin d'être mieux à même de

procéder à la création de nouvelles formules génétiques aptes à remplir l'objectif défini ci-dessus.

Dans le présent article, nous n'envisagerons que l'étude de six caractéristiques de la fibre, selon deux parties :

- l'analyse et l'interprétation des phénomènes d'hétérosis et des aptitudes à la combinaison ;
- puis l'examen du fonctionnement génétique de ces caractéristiques.

Nous tenterons finalement de dégager une méthodologie pour obtenir le résultat recherché, réservant à un autre article l'examen des caractères liés à la productivité.

* Généticiens I.R.C.T., Station de Bouaké, Côte d'Ivoire.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le matériel végétal

Huit variétés ont servi de base à cette analyse diallèle. Quatre sont originaires des Etats-Unis et diffusées en grande culture : il s'agit du Deltapine 16 (parent 1), du Stoneville 213 (parent 2), du Coker 417 (parent 3) et du Brycott 1032 (parent 4).

Le noyau africain comporte lui aussi quatre variétés, avec le PAN F-3492 (parent 5) dont les multiplications sont en cours au Cameroun, au Tchad et au Mali ; le SR1 F-71 (parent 6) qui doit être l'objet d'une vulgarisation en culture dite traditionnelle au Tchad ; enfin, HAR 299-10 (parent 7) et HAR 231-24 (parent 8), deux variétés obtenues en Côte d'Ivoire dans la descendance d'un hybride trispécifique (*Gossypium hirsutum* × *G. arboreum* × *G. raimondii*), sont destinées à couvrir l'ensemble de la zone cotonnière de ce pays.

Le dispositif expérimental et les caractéristiques étudiées

L'expérience diallèle inclut les parents, les croisements directs et réciproques entre parents deux à deux, soit 8 F_0 et 36 F_1 . L'ensemble de ces 64 variétés de sélection sera appelé génération F_n . Le dispositif de comparaison de ces 64 unités au champ est un bloc de Fischer à trois répétitions. Les parcelles élémentaires sont de 5 m², sur lesquelles 4 plants ont été récoltés en mélange.

Sept mesures de caractéristiques quantitatives ont été effectuées, dont six concernant la technologie de la fibre :

- Rendement en fibre, rapport de la quantité de fibre à celle du coton égrené, exprime en pourcentage ;
- Longueur de la fibre en mm (2,5 % span length) ;
- Uniformity ratio, mesure de l'uniformité en longueur exprimée en pourcentage ;
- Indice micronaire, mesure de la finesse, exprimée en micro/ginch ;
- Ténacité mesurée au stéломètre, en g/tex ;
- Ténacité mesurée au Pressley, exprimée en 1 000 p.s.i. ;
- Allongement à la rupture, en pourcentage.

Les méthodes d'analyse

Analyse de l'hétérosis

L'hétérosis a été mesurée par la différence entre le niveau de la F_1 et celui des parents moyens.

Analyse des aptitudes à la combinaison

Les aptitudes générales (AGC) et spécifiques (ASC) à la combinaison ont été calculées selon la méthode

définie par GRIFFING (1956) ; le modèle choisi intégrait les parents et les F_1 , c'est-à-dire la génération F_n . L'utilisation du modèle de l'analyse de variance de HAYMAN (1954b) a permis dans certains cas de préciser les résultats obtenus par la méthode de GRIFFING.

Epistasie

Une étude valable de l'épistasie dans les croisements diallèles n'est possible qu'à condition de disposer des données relatives à la génération F_n . Avec les seules générations F_1 et F_2 on peut tenter une approche des relations épistatiques en utilisant différents tests (niveau de signification de F ; comparaison des rapports W_r , V_r et $W'r$, $W'r$) proposés par HAYMAN (1954a).

Fonctionnement génétique des caractères

L'analyse des données selon les schémas de HAYMAN (1954) requiert que le matériel satisfasse à certaines conditions restrictives (homozygotie parentale, ségrégations mendéliennes diploïdes, pas d'effets réciproques, pas de multiallélisme, pas d'épistasie, pas de corrélation de gènes).

Outre les remarques que l'on fera *a priori* sur notre matériel quant à sa conformité au modèle, la validité des conditions énoncées ci-dessus peut être testée globalement par l'invariance de la quantité $W_r - V_r$ pour chacune des caractéristiques. Le test est relativement peu satisfaisant, car JINKS (1954) a montré qu'il ne décele pas toujours la présence d'épistasie. Un autre test consiste à voir si la pente de la droite de régression $W_r - V_r$ est différente de 0 et non différente de 1. Ce test est cependant moins sensible que le précédent.

Les conditions étant vérifiées, on peut étudier le fonctionnement génétique des caractères par deux méthodes, l'une graphique, l'autre statistique, lesquelles ne sont d'ailleurs pas sans analogie.

La méthode graphique qui met en jeu la droite de régression W_r , V_r , la parabole $W_r^2 = V_p \times V_r$ et la tangente à cette parabole permet de connaître :

- l'existence ou non de dominance (b différent de 0) ;
- le type de la dominance (signe de a) ;
- la conformité au modèle théorique ;
- la répartition des gènes de dominance chez les parents (positions des parents le long de la droite de régression) ;
- les limites théoriques d'une sélection dans le matériel.

Le graphique W_r , V_r fonction de y_r permet de situer le sens de la dominance. Le graphique $W'r$, $W'r$ indique s'il y a symétrie dans la distribution des gènes chez les parents.

La méthode statistique permet le calcul des composantes de la variance génétique et de diverses quantités utiles à l'interprétation du fonctionnement

génétique des caractères. On en trouvera le détail dans SCHWENDIMAN et LEFORT (1975).

RÉSULTATS CONCERNANT L'HÉTÉROSI ET LES APTITUDES A LA COMBINAISON

Analyse des effets génotypiques

Le tableau 1 donne la moyenne des données de l'analyse ainsi que les variances génotypiques des croisements pour la génération F_0 .

Une variable, l'uniformity ratio, ne présentant pas d'effet génotypique significatif, ne pourra en conséquence faire l'objet d'analyses ultérieures. LEFORT et SCHWENDIMAN (1974) avaient obtenu un résultat identique pour ce caractère.

Hétérosis

Le tableau 2 donne les valeurs moyennes des générations F_0 et F_1 pour chaque variable ainsi que le taux d'hétérosis. L'hétérosis est dans tous les cas

faible et jamais significatif, sauf pour la longueur où la limite de la signification est à peine dépassée.

Si l'on considère maintenant les croisements individuels, on a indiqué sur ce même tableau ceux qui présentent un effet hétérotique significatif (sur un total de 56 croisements). Six sur les 14 combinaisons hétérotiques décelées pour la longueur ont pour base le parent 3492.

Les aptitudes à la combinaison

Effets globaux

L'analyse de la génération F_2 par la méthode de GRIFFING conduit au calcul des variances du tableau 3.

Tableau 1. — Valeurs moyennes des données de base et variances génotypiques des croisements, pour les sept caractères étudiés.

Caractères	Variances génotypiques	Valeurs moyennes des lignées								
		DP 16	Ston. 213	Coker 417	Brycott	3492	SR 1 F_4	HAR 299-10	HAR 231-24	moyenne
Rendement fibre	3,99 **	40,54	39,34	35,74	39,09	38,14	37,64	40,22	37,64	38,55
Long. 2,5 % S.L.	6,05 **	27,93	28,17	29,30	27,97	30,10	28,07	30,20	30,07	28,98
U.R.	1,34	47,77	47,90	48,60	46,10	49,53	48,53	49,17	49,17	48,35
Micronaire	3,59 **	4,19	4,09	3,89	3,90	3,90	4,85	4,36	4,17	4,17
Ténacité stélom.	4,40 **	19,07	18,63	20,10	18,57	22,50	19,07	21,97	22,87	20,35
Ténacité Pressley	3,73 **	82,5	89,7	87,4	89,17	96,93	90,63	96,40	96,17	91,12
Allongement	2,06 **	7,50	7,03	7,27	6,93	6,67	7,43	6,83	6,83	7,06

* significatif à $P = 0,05$; ** significatif à $P = 0,01$

Tableau 2. — Moyennes F_0 et F_1 , taux d'hétérosis et nombre de croisements hétérotiques pour les six caractères étudiés.

Caractères	$\bar{m} F_0$	$\bar{m} F_1$	% hétérosis $F_1-F_0/\bar{m} F_0$	Nombre de croisements hétérotiques
Rendement-fibre	38,55	39,30	1,95	5
Longueur	28,98	29,62	2,21 *	14
Micronaire	4,17	4,15	- 0,58	1
Ténacité (Stélomètre	20,35	20,40	0,25	0
Pressley	91,11	89,36	- 1,91	0
Allongement	7,06	7,19	1,84	3

Tableau 3. — *Variances AGC et ASC, effets réciproques, rapports des variances AGC/ASC.*

Variances	Rendement-fibre	Longueur	Micro-naire	Ténacité		Allongement
				Stélo-mètre	Pressley	
AGC	8,16 **	4,61 **	0,49 **	11,50 **	113,65 **	0,30 **
ASC	0,53 *	0,46 **	0,03	0,21	4,53	0,06 *
Effets réciproques	0,39	0,23 *	0,03	0,43	3,83	0,04
AGC/ASC	15	10	16	57	25	5

Les effets réciproques ne concernent que la longueur. Les variances AGC sont toujours très significatives, les variances ASC ne le sont que pour la longueur et à un moindre titre pour le rendement en fibre et l'allongement. Les rapports des variances AGC/ASC, élevés pour les mesures de ténacité, de micronaire et de rendement en fibre, indiquent que pour ces caractères, l'additivité ainsi qu'une fraction de l'épistasie additive \times additive sont déterminantes. Pour la longueur et surtout l'allongement, la dominance et les épistasies $a \times d$ et $d \times d$ jouent un rôle.

Le tableau 4 donne la signification des paramètres obtenus par l'analyse des variances de HAYMAN; les tests peuvent être de deux sortes, par rapport aux interactions ou par rapport à une variance erreur commune (MATHER et JINKS, 1971) si le test de BARTLETT (1937) a montré l'égalité des variances interactions.

Le paramètre a représente l'additivité. Il est égal à la variance AGC obtenue dans le modèle de GRIFFING, affecté du coefficient 3 correspondant au nombre de blocs. Il est toujours hautement significatif.

Le paramètre b se rapporte à la dominance et b_1 , b_2 , b_3 testent plus précisément ces effets de dominance, avec :

b_1 égal à la déviation moyenne des F_1 comparées aux valeurs moyennes de leurs parents. Le terme n'est significatif que si les déviations dues à la dominance des gènes sont prédominantes dans une direction. La dominance est alors unidirectionnelle, ce qui semble être le cas pour le rendement en fibre, la longueur et la ténacité Pressley.

b_2 , déviation moyenne des F_1 par rapport aux valeurs moyennes de leurs parents établies pour chaque parent. Le terme est significatif s'il y a asymétrie de la distribution des gènes, certains parents possédant plus de dominants que d'autres, ce qui ne semble pas être le cas ici.

b_3 , la part de la déviation due à la dominance propre à chaque F_1 . Ce terme représente réellement l'ASC; dans l'analyse de GRIFFING, l'ASC intègre b_1 et b_3 , d'où variance ASC de l'analyse de GRIFFING

Tableau 4. — *Signification des divers paramètres obtenus par l'analyse de variance de HAYMAN.*

Caractéristiques Paramètres	Rendement-fibre	Longueur	Micro-naire	Ténacité stélo-mètre	Ténacité Pressley	Allongement
	(1) (2)	(1) (2)	(1) (2)	(1)	(1)	(1) (2)
a	24,48 ** **	13,84 ** **	1,48 ** **	35,70 **	340,96 **	0,90 ** **
b	1,60 *	1,18 ** **	0,09	0,61	13,61	0,18 *
b_1	12,05 **	8,61 **	0,01	0,05	64,23 **	0,37
b_2	0,98	0,41	0,09	0,41	8,38	0,12
b_3	1,29	1,08 ** **	0,10 *	0,71	12,90	0,18 *
c	0,74	0,86 * *	0,03	1,04	16,74	0,14
d	1,32	0,62	0,10	1,37	9,76	0,12

(1) Test des paramètres par rapport à leurs interactions respectives.

(2) Test des paramètres par rapport à la variance erreur commune, lorsque les variances interactions sont égales.

\times nombre de blocs = b, terme de l'analyse de variance selon HAYMAN. On retrouve les mêmes niveaux de signification pour l'ASC et pour b. Si on considère seulement b₀, la longueur est affectée par une très forte aptitude spécifique à la combinaison; ainsi qu'à un titre moindre le micronaire et l'allongement.

Le paramètre c teste les effets maternels moyens de chaque lignée parentale si les croisements réciproques diffèrent.

d détecte les différences entre croisements réciproques non attribuables à c; c + d est égal aux effets réciproques de l'analyse de GRIFFING affectés du coefficient nombre de blocs (les calculs sont effectués alors au niveau de la somme des carrés et non des variances). Des effets réciproques attribuables à c affectent le caractère longueur de fibre.

Effets individuels

— AGC

Le tableau 5 donne les AGC individuelles, le niveau de leur signification et le classement qui en résulte

pour les parents (p.p.d.s. à $P = 0,05$). Le tableau 6 donne la corrélation entre les phénotypes parentaux et les AGC individuelles. Considérons le tableau 5, on s'aperçoit que les AGC sont significativement différentes de 0 pour la ténacité au stélomètre, le micronaire, la longueur de fibre, la ténacité Pressley et le rendement en fibre. Pour l'allongement, seuls trois parents présentent des AGC significativement différentes. Pour l'ensemble des caractères, les parents L 299-10 et L 231-24 ont les meilleures AGC (5 sur 6, positives et significativement différentes de 0). Compte tenu de la corrélation positive forte entre AGC et niveau phénotypique des parents, on constate que le matériel végétal n'est pas très intéressant pour le caractère allongement.

— ASC

Le tableau 7 donne, d'une part, les valeurs des ASC parentales (moyenne des ASC individuelles ayant un parent commun) et, d'autre part, les croisements qui présentent des ASC individuelles significatives. Peu de croisements montrent des ASC significatives; pour l'ensemble des caractères, on trouve 11 cas

Tableau 5. — AGC individuelles.

Rendement-fibre			Longueur			Micronaire		
Parents	AGC	p.p.d.s.	Parents	AGC	p.p.d.s.	P	AGC	p.p.d.s.
7	1,030 **	a	7	0,6020 **	a	6	0,3406 **	a
1	0,750 **	a	5	0,5416 **	a	1	0,0735 **	b
2	0,273 *	b	8	0,5208 **	a	8	0,0134 **	c
4	0,040	b	3	0,2250 **	b	7	0,0128 **	c
8	— 0,017	b	6	— 0,2124 *	c	2	0,0092 **	c
5	— 0,407 *	c	4	— 0,3749 **	c d	4	— 0,0226 **	d
6	— 0,430 **	c	1	— 0,5896 **	d e	5	— 0,1739 **	e
3	— 1,237 **	d	2	— 0,7124 **	e	3	— 0,2531 **	f

Stélomètre			Pressley			Allongement		
P	AGC	p.p.d.s.	P	AGC	p.p.d.s.	P	AGC	p.p.d.s.
8	1,425 **	a	8	4,2653 **	a	1	0,3052 **	a
5	0,928 **	b	5	3,9674 **	a	6	0,0552	b
7	0,594 **	c	7	3,1845 **	a	3	0,0114	b c d
3	— 0,260 **	d	4	1,7070 **	b	8	— 0,0406	b c d
6	— 0,424 **	e	6	1,1716 *	b	4	— 0,0427	b c d
1	— 0,699 **	f	2	0,3487	b c	2	— 0,0520	b c d
2	— 0,749 **	f	3	— 0,2097	c	5	— 0,0989 *	c d
4	— 0,814 **	f	1	— 3,8867 **	d	7	— 0,1385 **	d

Tableau 6. — Corrélation F_0 AGC.

	Rendement-fibre	Longueur	Micronaire	Stélomètre	Pressley	Allongement
Corrélation ...						
F_0 AGC	0,950 **	0,955 **	0,901 **	0,985 **	0,962 **	0,8334 **

positifs, dont 8 proviennent de croisements entre une variété américaine et une variété africaine. Pour les ténacités, on ne relève aucun croisement à ASC

significatives. C'est pour la longueur qu'ils sont le plus nombreux.

Tableau 7. — Valeurs ASC parentales et croisements présentant des ASC significatives.

Caractéristiques	Parents							
	DP 16	Ston. 213	Coker 417	Brycott	3492	SR1 F ₁	299-10	231-24
Rendement fibre	0,0240	0,0580	0,1420 (3 × 2) +	0,0280	0,0360	0,1010 (6 × 4) -	0,1490	0,2190 (8 × 2) +
Longueur de fibre	0,0603	— 0,0089	0,0979	0,1169 (4 × 1) - (4 × 5) + (4 × 6) +	0,0740	0,1490	0,0771 (7 × 2) + (7 × 3) +	0,0720
Micronaire	0,0156	0,0110	— 0,0353	0,0294 (4 × 1) +	— 0,0137	— 0,0024 (6 × 1) -	— 0,0269 (7 × 2) -	0,0003 (8 × 6) +
Ténacité stélomètre	— 0,0109	0,0366	— 0,0329	0,0277	— 0,0365	0,0676	— 0,0555	0,0533
Ténacité Pressley	— 0,4700	— 0,2980	— 0,1290	0,1709	— 0,2927	— 0,1915	— 0,4403	— 0,0930
Allongement	0,0412	0,0061	— 0,0093	— 0,0227	+ 0,0447	— 0,0206 (6 × 2) - (6 × 3) +	0,0095 (7 × 2) + (7 × 3) -	0,0376

(4 × 1) croisement dont l'ASC est significative

+ indique une ASC de signe positif

- indique une ASC de signe négatif.

RÉSULTATS CONCERNANT L'ÉPISTASIE ET LE FONCTIONNEMENT GÉNÉTIQUE DES CARACTÈRES

L'épistasie

Deux voies permettent d'aborder son étude :

- La moyenne F des composantes Fr. laquelle représente plus particulièrement les interactions entre les effets additifs et non additifs ;
- L'analyse des rapports Wr, Vr et W'r. Wr à partir desquels on peut déterminer les parents épistatiques.

Les deux types de résultats sont consignés dans le tableau 8.

Les valeurs moyennes de la composante F ne sont significatives que pour le rendement en fibre, la ténacité stélométrique et la longueur. Pour ces trois caractères, il existerait donc des interactions entre les effets additifs et non additifs.

Dans la mesure où une telle approche de relations épistatiques reflète la réalité, le parent L299-10 se-

rait à épistasie élevée. Viennent ensuite les parents SR₁F₁, puis Brycott et Stoneville.

Fonctionnement génétique des caractères

Validité a priori du modèle

Certaines remarques peuvent être faites a priori en ce qui concerne la conformité du matériel végétal étudié aux hypothèses restrictives :

- Homozygotie parentale : les lignées ont subi au moins 5 années d'auto-fécondation : elles présentent une bonne homogénéité phénotypique intra-lignée ;
- Ségrégations diploïdes : bien qu'amphidiploïde, *Gossypium hirsutum* ségrège comme un véritable diploïde (KIMBER, 1961 ; ENDRIZZI, 1962) ;
- Pas de différence entre croisements réciproques : les effets réciproques ne sont significatifs que pour la longueur ;

Tableau 8. — Valeurs des interactions entre effets additifs et non additifs et détermination des parents épistatiques.

Caractères	Interactions additifs x non additifs	Détermination des parents épistatiques							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rendement fibre	1,2732 **	—	f	—	—	f	—	f	—
Longueur	0,3539 *	—	—	—	f	—	F	F	f
Micronaire	0,0662	F	f	—	f	f	f	F	—
Ténacité stélomètre	1,4565 **	—	—	—	—	—	—	—	—
Ténacité Pressley	2,0598	—	—	—	—	—	F	—	f
Allongement	0,0612	—	F	—	F	—	—	f	—

F = parent à épistasie forte pour le caractère considéré.

f = parent à épistasie faible pour le caractère considéré.

— Absence d'allélisme multiple: le multiallélisme est une donnée importante de la génétique des végétaux supérieurs (DEMARIY, 1972). Il doit jouer encore plus au niveau des hybrides interspécifiques (SCHWENDIMAN et LEFORT, 1975). Mais en l'absence de la génération F_2 , il n'existe pas de test pour vérifier l'hypothèse;

— Distribution indépendante des gènes chez les parents. Le matériel a subi de fortes pressions de sélection en ce qui concerne les caractères quantitatifs analysés. On peut donc s'attendre à des corrélations de gènes qu'il est impossible de tester avec le dispositif employé ici.

Pour les autres caractères, l'ensemble des conditions du modèle serait respecté.

Contrôle génétique du rendement en fibre

Les conclusions ci-dessous proviennent de l'examen de la figure 1 (voir annexe) et du tableau 10.

La position de la droite de régression sur le graphique W_r , V_r indique une dominance pratiquement complète, ce qui est en accord avec les valeurs d et d' , ainsi que $D-H_1$ (non significativement différent de 0). La pente de la droite, proche de 1, vient confirmer les résultats du test W_r-V_r .

Les parents sont régulièrement échelonnés sur la droite de régression. Le groupe Stoneville 213, 3492, L 299-10 possède une majorité de gènes dominants, ce que traduisent les valeurs de Fr , tandis que Brycott et L 231-24 ont une proportion équivalente de gènes récessifs et dominants. Pour l'ensemble des parents, K_D/K_R montre qu'il y a trois allèles dominants pour deux récessifs.

Le coefficient de corrélation ($W_r + V_r$), yr n'est pas différent de -1 , indiquant que la dominance

Test W_r-V_r de conformité au modèle

La déviation de la quantité W_r-V_r n'est significative que pour le caractère ténacité Pressley. L'épistasie reconnue pour $Sr-F_1$ et L 231-24 explique peut-être à elle seule cette déviation. En effet, l'analyse des données montre que si l'on exclut ces parents, (W_r-V_r) n'est plus significativement différent de 0 pour ce caractère.

Tableau 9. — Analyse de la variance W_r-V_r .

Caractères	Déviation	Répétitions	Résidu
Degré de liberté	7	2	14
Rendement fibre	0,1324	0,3191	0,1011
Longueur 2,5 % S.L.	0,0751	0,0399	0,0353
Micronaire	0,00039	0,00025	0,00114
Ténacité) stélomètre	0,0744	0,4775	0,1152
) Pressley	36,6576 *	118,55 **	8,6777
Allongement	0,0028	0,0073	0,0020

Tableau 10. — Les composantes génétiques, leurs dérivés et les corrélations.

	Rendement-fibre	Longueur 2,5 % S.L.	Micronaire	Ténacité stéomètre	Ténacité Pressley (a)	Allongement
D	2,8935 **	1,2244 **	0,1381 **	3,8739 **	31,2399 **	0,1010 **
F	1,2732 **	0,3539 **	0,0662	1,4565 **	2,0598	0,0612
H ₁	2,3914 **	1,4235 **	0,1713 **	2,0510 **	12,4935 **	0,2426 **
H ₂	1,8681 **	1,0999 **	0,1121 **	1,4303 **	10,2464 **	0,2027 **
h ²	1,6123 **	1,1993 **	— 0,0083	— 0,0083	6,4890 **	0,0368
d	0,909	1,079	1,110	0,727	0,632	1,5498
d'	0,896	0,9871	0,9705	0,609	0,5688	1,5352
D — H ₁	0,5021	— 0,2011	— 0,0332 *	1,3229 **	18,7464 **	— 0,1416 **
H ₁ — H ₂	0,5232	0,3256	0,0592	0,6207	2,2471	0,0399
u x v	0,1952	0,1928	0,1633	0,1743	0,205	0,2088
K _D /K _R	1,639	1,3093	1,5484	1,6970	1,1049	1,4859
k	0,8630	1,09	—	—	0,6332	0,1815
1/2 F/√D (H ₁ — H ₂)	0,52	0,28	0,37	0,47	0,12	0,48
1/4 D/1/4 (D + H ₁ — F) + E	0,54	0,44	0,41	0,65	0,53	0,23
1/2 (D + H ₁ — H ₂ — F)/ 1/2 (D + H ₁ — F) — 1/4 H ₂ + E	0,57	0,39	0,38	0,68	0,57	0,29
Corr. (Wr + Vr), yr	— 0,484	— 0,450	0,202	0,795	0,9596	0,1459
Fr parent 1	1,5742 **	0,1040	0,1719 **	0,9287	23,8932 **	0,2139 **
2	3,8772 **	1,0296 **	0,0745 *	2,3865 **	9,7846 **	0,1465 **
3	— 0,4693	0,0484	0,1681 **	1,5481 **	5,0116 *	— 0,1120 **
4	— 0,8247 **	— 0,7165 *	— 0,0625 *	2,6213 **	5,2064 *	0,3035 **
5	2,8668 **	— 0,0537	0,1155 **	0,9775	— 12,3871 **	0,0107
6	0,8202 **	0,3324 *	0,0513	2,3411 **	—	— 0,0424
7	3,7182 **	1,2742 **	0,1235 **	1,3029 **	— 19,1487 **	0,1443 **
8	— 1,5189 **	0,8134 **	— 0,1129 **	— 0,4556	—	0,0675

(a) Parents 6 et 8 exclus.

s'exerce principalement vers les valeurs élevées du rendement en fibre. Le génotype théorique possédant tous les allèles dominants présents dans la population parentale correspondrait à une plante ayant 46,9 % de rendement en fibre. Les parents Brycott et Stoneville, bien que de phénotypes proches, les réalisent toutefois par des voies différentes: Brycott possède moins de dominants que Stoneville, mais à effets sûrement importants. 3492, bien que plus riche en gènes dominants, ne réalise qu'un rendement en fibre moyen, d'où chez cette variété la possibilité de gènes dominants exerçant leur action cette fois vers les valeurs faibles du caractère (dominance non unidirectionnelle), ou de gènes à effets moindres.

Le rapport $1/2 F/\sqrt{D} (H_1 - H_2)$ égal à 0,52, indique que l'amplitude de la variation du degré de dominance d'un locus à l'autre est faible, donc que la dominance est complète à la plupart des loci. Ce rapport n'est tout de même pas égal à 1; ceci peut provenir des parents Brycott et 3492, où nous avons supposé la présence de dominants à effets respectivement élevés et faibles.

$k = 0,863$ indiquerait que peu de loci sont en jeu. En fait, cette estimation du nombre de facteurs effectifs est très controversée et ne reflète sûrement que de très loin la réalité.

La pente de la droite de régression W'r fonction de Wr ($b = 0,319$ différent de $b = 0,5$) montre qu'il y a asymétrie dans la distribution des gènes chez les parents, ce que ne confirme pas la différence $H_1 - H_2$. En fait, le graphique indique bien que cette asymétrie est faible.

Le rendement en fibre est fortement héritable d'après les deux estimations faites, indiquant que l'additivité constitue le phénomène majeur dans le fonctionnement génétique du caractère.

Contrôle génétique de la longueur de fibre

L'analyse du caractère a été faite à partir de la figure 2 (voir annexe) et du tableau 10.

La position de la droite de régression sur le graphique Wr, Vr indiquerait une dominance partielle; mais cette situation paraît découler d'une pente différente de 1. Les valeurs d, d' et D-H₁ montrent en effet que la dominance est complète. Les parents SR-F, et L 299-10, chez lesquels on a constaté l'existence de relation épistatique, seraient à l'origine de cet écart de la pente par rapport à 1.

Les parents Stoneville, L 299-10 et L 231-24 possèdent une majorité de gènes dominants d'après le

graphique et les valeurs Fr , tandis que chez Brycott la proportion de récessifs serait plus importante. Pour l'ensemble des parents, K_D/K_R montre qu'il y a un peu moins de 3 allèles dominants pour 2 récessifs. Le rapport H_2/H_1 donnerait plutôt 3 allèles dominants pour 1 récessif.

Le coefficient de corrélation ($Wr + Vr$), yr n'est pas significativement différent de 0 à $P = 0,05$, ce qui montre que la dominance n'est pas unidirectionnelle. Il est vrai qu'un même phénotype est obtenu à partir de structures génétiques différentes. Stoneville 213, riche en gènes dominants, donne le même phénotype que Brycott, essentiellement récessif. A l'inverse, 3492, pauvre en gènes dominants, réalise le même phénotype que L 299-10, riche en gènes dominants. En ce qui concerne DP 16, la dominance ne serait pas unidirectionnelle. Des relations épistatiques joueraient aussi favorablement chez L 299-10, alors que leur effet est contraire pour SR_F .

Le rapport $1/2 F/\sqrt{D(H_1 - H_2)} = 0,28$ faible, confirme qu'il existe des variations importantes dans les degrés de dominance d'un locus à l'autre.

$k = 1,09$ indiquerait que peu de facteurs exprimant de la dominance sont en jeu. L'effet de dominance serait important chez certains parents, notamment L 299-10.

Le graphique $W'r$, Wr , dont la pente n'est pas significativement différente de 0,5, indique qu'il y a symétrie dans les distributions de gènes.

La longueur de fibre est moyennement héritable. La dominance et l'épistasie doivent jouer un rôle sur l'hérédité de ce caractère, même si la part de la variance additive paraît relativement importante.

Contrôle génétique du micronaire

La figure 3 et le tableau 10 donnent les éléments nécessaires à l'interprétation de ce caractère.

La droite de régression de pente 0,775 non significativement différente de 1, confirme les résultats du test $Wr-Vr$. La position de la droite sur l'axe Wr , indique une dominance complète en relation avec les résultats concernant d , d' et $D-H_1$.

Les parents sont régulièrement échelonnés sur la droite de régression, avec toutefois deux groupes : chez le premier (DP 16, Coker 417, 3492, L 299-10, Stoneville 213 et SR_F), les gènes dominants sont majoritaires ; chez le second (Brycott et L 231-24), la proportion de récessifs est plus importante. Pour l'ensemble des parents, il y aurait 3 allèles dominants pour 2 récessifs.

Le coefficient de corrélation ($Wr + Vr$), yr n'est pas différent de 0, ce qui indiquerait une dominance non unidirectionnelle. Le rapport $1/2 F/\sqrt{D(H_1 - H_2)}$ faible indique des variations importantes dans les degrés de dominance d'un locus à l'autre. Les phénotypes finalement réalisés dépendent alors du nombre de dominants présents chez les parents, de l'in-

tensité de la dominance et du sens dans laquelle elle s'exerce et pour certains d'entre eux (DP 16 et L 299-10), de relations épistatiques.

Sur l'ensemble des loci, les effets dus à la dominance sont nuls. Ceci pourrait expliquer qu'on ne puisse estimer le nombre de facteurs agissant sur le caractère.

D'après le graphique $W'r$, Wr et la différence $H_1 - H_2$, il y a symétrie dans la distribution des gènes.

L'indice micronaire est moyennement héritable.

Contrôle génétique de la ténacité mesurée par le stélomètre

L'analyse du caractère provient de l'examen de la figure 4 et du tableau 10.

La droite de régression de pente 0,9446 est parallèle à la première bissectrice. Ce fait confirme les résultats du test $Wr-Vr$, sa position sur le graphique Wr , Vr indique une dominance partielle, les valeurs d , d' et $D-H_1$ conduisent à la même conclusion.

La disposition des parents le long de la droite permet de distinguer trois groupes : Stoneville 213, Brycott et SR_F ; DP 16, Coker, 3492, L 299-10 ; et enfin L 231-24. L'examen des valeurs Fr confirme bien cette subdivision. Dans le premier groupe, les gènes dominants sont majoritaires ; dans le second, il y a équilibre de proportion entre gènes dominants et gènes récessifs ; dans le troisième, les récessifs sont plus nombreux.

Le coefficient de corrélation, qui n'est pas significativement différent de +1, traduit que la dominance s'exerce vers les valeurs faibles de la ténacité. En conséquence, le parent L 231-24, relativement riche en allèles récessifs, réalise le meilleur phénotype, suivi par 3492. Seul DP 16 ne réalise pas une ténacité élevée, bien que ne possédant que peu d'allèles dominants (action inverse possible de ceux-ci chez cette lignée).

$H_1 - H_2$ est significativement différent de 0, indiquant, comme le graphique $W'r$, Wr , qu'il y a asymétrie dans la distribution des gènes.

L'additivité prédominante confère au caractère une héritabilité élevée.

Contrôle génétique de la ténacité mesurée au Pressley

L'analyse du caractère est faite à partir de l'examen du tableau 10 et de la figure 5.

Il a été nécessaire d'exclure les parents SR_F et L 231-24 (fortement épistatiques), pour obtenir un test $Wr-Vr$ non significatif, respectant donc le modèle théorique.

La droite de régression de Wr sur Vr est de pente non significativement différente de 1 (pente de 0,9915). Le point où elle coupe l'axe des ordonnées indique que la dominance est partielle, ce que confirment les valeurs d , d' et $D-H_1$.

Les points représentant les parents sont régulièrement échelonnés sur la droite. Le parent DP 16 se compose en majorité de gènes dominants. Le groupe (Stoneville 213, Coker, Brycott) en possède relativement moins. Chez le groupe (3492, L 299-10) les gènes récessifs sont plus nombreux. Pour l'ensemble des parents, il y aurait équivalence entre allèles dominants et récessifs.

Le coefficient de corrélation de 0,9596 non différent de 1, indique une dominance unidirectionnelle. La dominance s'exerce vers les valeurs faibles de la ténacité Pressley. Pour cette raison, les parents L 299-10 et 3492, à majorité de récessifs, ont le meilleur phénotype. Par contre, le parent DP 16 réalise le plus faible.

Le rapport $1/2 F/\sqrt{D} (H_1 - H_2) = 0,12$ indique des variations importantes dans les degrés de dominance d'un locus à l'autre.

Plu de facteurs sont en jeu d'après k. Mais la valeur calculée 0,6332 est peut-être largement sous-estimée à cause d'effets inverses de dominance. La présence d'un ou deux gènes fortement dominants peut aussi expliquer cette situation.

$W'r = 0,4515 W'r + 1,1323$ a une pente non significativement différente de 0,5, indiquant qu'il y a asymétrie dans la distribution des gènes.

La variance additive est élevée et le caractère est fortement héritable.

Contrôle génétique de l'allongement

On trouve les éléments nécessaires d'interprétation dans le tableau 10 et la figure 6.

D'après les valeurs de d, d' et D-H₁, il y a superdominance. L'analyse graphique ne confirme pas ce résultat, du fait d'une pente peu conforme et de la dispersion de parents.

Si des parents sont répartis uniformément le long de la droite, certains sont très dispersés de part et d'autre de celle-ci, spécialement Stoneville, Brycott et L 231-24. Le groupe (DP 16, Stoneville 213, Brycott et L 299-10) est à majorité d'allèles dominants, alors que c'est l'inverse pour Coker.

Le coefficient de corrélation ($W'r + V'r$), yr indique que la dominance n'est pas unidirectionnelle. En effet, à des valeurs phénotypiques élevées de l'allongement correspondent des parents aussi différents que Coker (majorité d'allèles récessifs), SR-F₁ (égalité des allèles récessifs et dominants) et DP 16 (majorité d'allèles dominants).

Le nombre de facteurs ne peut être valablement estimé, sans doute à cause d'effets de dominance allant en sens contraire.

Le graphique $W'r$, $W'r$ comme la différence $H_1 - H_2$ indique qu'il y a symétrie dans la distribution des gènes.

La superdominance jouant, le caractère est faiblement héritable.

DISCUSSION ET CONCLUSION : ÉTUDE DES STRUCTURES GÉNÉTIQUES ET STRATÉGIES D'AMÉLIORATION

Les résultats ont permis d'avoir un aperçu du fonctionnement des caractères étudiés. Sur le matériel génétique même, ils fournissent aussi certains renseignements que nous essayerons de dégager. Nous verrons ensuite comment utiliser les informations obtenues pour prévoir les méthodes les plus adéquates à l'amélioration de ce matériel.

Les éléments d'information quant au matériel génétique

— Le matériel est constitué de deux groupes de cotonniers, l'un d'origine américaine, l'autre d'origine africaine. On considère les AGC individuelles du tableau 5 pour cinq caractéristiques technologiques (on ne tient pas compte de la résistance Pressley) ; leurs valeurs prises par ordre décroissant permettent de classer les parents que l'on définira par leur groupe d'origine seulement :

Sur le tableau 11, on sépare les parents à AGC positives et significativement différentes de 0, des autres. On voit qu'aux meilleures AGC correspondent les cotonniers d'origine africaine, dans une proportion de 63 %.

— Si l'on considère, pour les trois groupes de croi-

sements possibles ($am \times am$; $af \times af$; $af \times am$) selon l'origine des variétés, les ASC individuelles, et que l'on calcule leurs moyennes relatives et absolues ainsi que leur variance, il apparaît d'après le tableau 11, que pour au moins deux caractères, la longueur et l'allongement, le groupe ($af \times af$) a des variances élevées et une moyenne absolue différente de la moyenne relative. Ceci tend à indiquer que les variétés constituant ce groupe ne sont pas génétiquement homogènes. On ne retrouve jamais ce type de résultat pour les croisements entre variétés américaines qui seraient constituées de structures génétiques plus proches les unes des autres. Les croisements de type ($af \times am$) présentent des variances élevées (rendement en fibre, allongement) ou des moyennes absolues et relatives fort différentes les unes des autres (rendement en fibre, longueur de fibre, ténacité, allongement) indiquant l'éloignement des structures génétiques, éloignement encore plus important qu'à l'intérieur du groupe ($af \times af$).

— Ces considérations sur les AGC et les ASC séparées en fonction des types de croisements permettent de conclure que la distinction « groupes d'origine » n'est pas arbitraire en ce qui concerne les caractéristiques étudiées. Les cotonniers américains constituent un ensemble génétiquement homogène,

Tableau 11.

	Rendement fibre	Longueur fibre	Indice micronaire	Ténacité stélomètre	Allongement
AGC positives et significativement différentes de 0	af	af	af	af	am
	am	af	am	af	af
	am	af	af	af	am
AGC non significativement différentes de 0 et AGC négatives	am	am	af	am	af
	af	af	am	af	am
	af	am	am	am	am
	af	am	af	am	af
	am	am	am	am	af
af = cotonnier d'origine africaine am = cotonnier d'origine américaine					

ce qui n'est pas le cas des cotonniers africains qui, bien que plus hétérogènes, donnent néanmoins des performances plus élevées que les variétés américaines.

— D'une façon générale, on constate que des ASC individuelles significatives (positives ou négatives) considérées sur l'ensemble des caractères sont observées à partir de 3 croisements de type (américain \times américain), 2 croisements (africain \times africain) et 12 croisements (américain \times africain), soit 10 %,

7 % et 15 % des croisements possibles dans chacun des groupes (le caractère ténacité Pressley n'est pas pris en considération). Si l'on ne retient que les seules ASC significatives et positives, les proportions sont 5 %, 7 %, 9 %. On constate qu'il y a équivalence des fréquences des parents à allèles dominants dans les deux groupes, américain et africain, pour chaque caractère. Les dominants sont donc différents d'un groupe à l'autre, ce qui confirme l'éloignement génétique mentionné plus haut entre groupes africain et américain.

Tableau 11. — Moyennes et variances des ASC individuelles par groupe d'origine.

Caractères	Groupe d'origine	Moyennes relatives	Moyennes absolues	Variances sur les relatifs
Rendement fibre	am \times am	+ 0,0891	0,2351	0,1115
	af \times af	+ 0,2246	0,2963	0,0941
	am \times af	+ 0,0430	0,4200	0,2290
Longueur de fibre	am \times am	— 0,1122	0,2217	0,0744
	af \times af	— 0,0503	0,3781	0,2124
	am \times af	+ 0,2010	0,3009	0,1144
Indice micronaire	am \times am	+ 0,0601	0,0927	0,0099
	af \times af	+ 0,0231	0,0756	0,0115
	am \times af	— 0,0360	0,1022	0,0138
Ténacité stélomètre ..	am \times am	+ 0,0835	0,2374	0,0914
	af \times af	+ 0,0883	0,2108	0,0978
	am \times af	— 0,0536	0,2453	0,0950
Allongement	am \times am	+ 0,0215	0,0534	0,0045
	af \times af	+ 0,0278	0,0843	0,0109
	am \times af	+ 0,0104	0,1533	0,0390

am \times am = groupe des américains, à 6 F_1

af \times af = groupe des africains, à 6 F_1

am \times af = groupe des américains \times africains, à 16 F_1

— Un examen des unités de sélection cas par cas montre que HAR 299-10 présente pour l'ensemble des caractères étudiés la meilleure balance interne, suivi de HAR 231-24. D'autres variétés ont de bonnes balances internes, mais pour certains caractères seulement. Il s'agit surtout de DP 16, 3492 et SR-F-71.

— HAR 231-24 croisé par Stoneville 213 donne la meilleure ASC : Stoneville 213 possède un certain nombre de gènes dominants à action faible et 231-24 une proportion équivalente de gènes dominants et récessifs. L 299-20 \times Stoneville 213 donne des ASC élevées pour la longueur de fibre, le micronaire et l'allongement. Les deux variétés ont une proportion de dominants plus élevée que de récessifs. Alors que leur conjugaison joue favorablement pour la longueur et l'allongement, elle joue défavorablement pour le micronaire.

Implications pratiques en sélection

— Le contexte biologique de Bouaké veut que l'allogamie chez le cotonnier soit faible, de 1 à 2% maximum ; il semble donc que la rareté des échanges génétiques spontanés entre plantes ne permette qu'une médiocre exploitation de leur ASC. Ce qui n'est pas le cas sur d'autres stations, telle Bébedjia, au Tchad, où le taux d'allogamie est de l'ordre de 18%. Dans ce pays, une voie simple consisterait à faire des bulks de lignées et à les vulgariser sous

forme de variétés synthétiques. On augmenterait la probabilité d'effets de dominances et d'hétérosis. Mais les données acquises sur ce diallele en Côte d'Ivoire ne sauraient constituer des éléments d'information pour le Tchad où l'on devrait recommencer l'épreuve.

— A Bouaké, pour surmonter le donné biologique, on peut penser à utiliser la stérilité mâle cytoplasmique qui permet de traiter de nombreuses plantes autogames comme des allogames. Mais chez le cotonnier, cette technique n'est pas suffisamment maîtrisée pour être employée.

— La voie la plus prometteuse d'amélioration de ce matériel semble donc être l'exploitation de la balance interne, qui de toute façon est largement déterminante de l'expression de la plupart des caractères. Dans ces conditions :

a) La lignée HAR 299-10, qui présente la meilleure balance interne pour l'ensemble des caractères, excepté l'allongement, pourrait servir de parent récurrent dans une série de backcrosses où le parent donneur serait DP 16, qui a par ailleurs un bon micronaire ;

b) Les croisements des lignées présentant les meilleures AGC pourraient être suivis en sélection génétologique, notamment les descendants de (HAR 231-24 \times Stoneville 213), (3492 \times HAR 299-10) et (SR-F \times HAR 299-10).

BIBLIOGRAPHIE

- BARTLETT M.S., 1937. — Properties of sufficiency and statistical tests. *Proc. Roy. Soc. London*, séries A, 160, 268-282.
- DEMARLY Y., 1972. — Commentaires sur les aptitudes à la combinaison. *Ann. Amélior. Plantes*, 22, 187-200.
- ENDRIZZI J.E., 1962. — The diploid-like cytological behaviour of tetraploid cotton. *Evolution*, 16, 325-329.
- GRIFFING B., 1956. — Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian J. Biol. Sci.*, 9, 463-493.
- HAYMAN B.I., 1954 (a). — The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 42, 336-355.
- HAYMAN B.I., 1954 (b). — The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics*, 10, 235-244.
- JINKS J.L., 1954. — The analysis of continuous variation in a diallel cross of *Nicotiana rustica*. *Genetics*, 39, 767-788.
- KIMBER G., 1961. — Basis of the diploid-like behaviour of polyploid cotton. *Nature*, 19, 98-100.
- LEFORT P.L. et J. SCHWENDIMAN, 1974. — Etude d'un matériel d'origine triple hybride, *Gossypium hirsutum \times *G. arboreum \times *G. raimondii* - II. Hétérosis, inbreeding et aptitudes à la combinaison. *Cot. Fib. trop.*, 29, 319-413.**
- MATHER K. et J.L. JINKS, 1971. — Biometrical genetics. *Chapman and Hall, London*, 382 p.
- SCHWENDIMAN J. et P.L. LEFORT, 1975. — Les lignées hybrides issues du croisement entre *Gossypium hirsutum* L. et *G. barbadense* L. - VI. Le contrôle génétique de sept caractères quantitatifs. *Cot. Fib. trop.*, 30, 395-418.

SUMMARY

Six quantitative characters (lint yield, staple length, micronaire index, strength measured by stielometer, strength measured by Pressley, and elasticity) were analysed using GRIFFING's and HAYMAN's models in a diallel cross between four African and four American varieties.

The study of combining ability revealed good internal genetic equilibrium for most of the characters.

Analysis of the genetic components always gave significant additive variances. With the exception of elasticity, heritability was relatively high for the other characters.

The results provide information as to the nature of the genetic material under study. The varieties of American origin constitute a genetically homogeneous group whereas this is not the case for the African varieties. Performance of the latter was also greater.

The differences observed in the genetic structures

between the two groups are even greater than those observed within the African group.

From a practical point of view, exploitation of good internal equilibria seems to be the best way of improving this material on the Ivory Coast. In contrast, exploitation of the equilibrium of related material could be envisaged in those places where allogamy is feasible.

RESUMEN

Después de un cruzamiento dialélico efectuado a partir de cuatro variedades de origen africano y cuatro variedades de origen americano, se analizaron seis caracteres cuantitativos (rendimiento en fibras, longitud de fibra, índice micronaire, tenacidad con el estelómetro, tenacidad Pressley y alargamiento) según los modelos de GRIFFING y de HAYMAN.

El estudio de las aptitudes de combinación, evidenció la preponderancia del buen equilibrio de la balanza genética interna para la mayor parte de los caracteres.

Los resultados suministran informaciones a propósito del material genético estudiado. Las variedades

de origen americano constituyen un conjunto genéticamente homogéneo, lo cual no es el caso de las variedades africanas, cuyas prestaciones, por otra parte, son mayores. El alejamiento de las estructuras genéticas entre ambos grupos es todavía más consecuente que lo es el interior del grupo africano.

Desde el punto de vista práctico, la explotación de los buenos balances internos parece ser la vía que permite mejorar este material en la Costa de Marfil, mientras que se podría considerar la explotación de los balances de relaciones en las localidades donde la alogamia no es despreciable.

ANNEXES

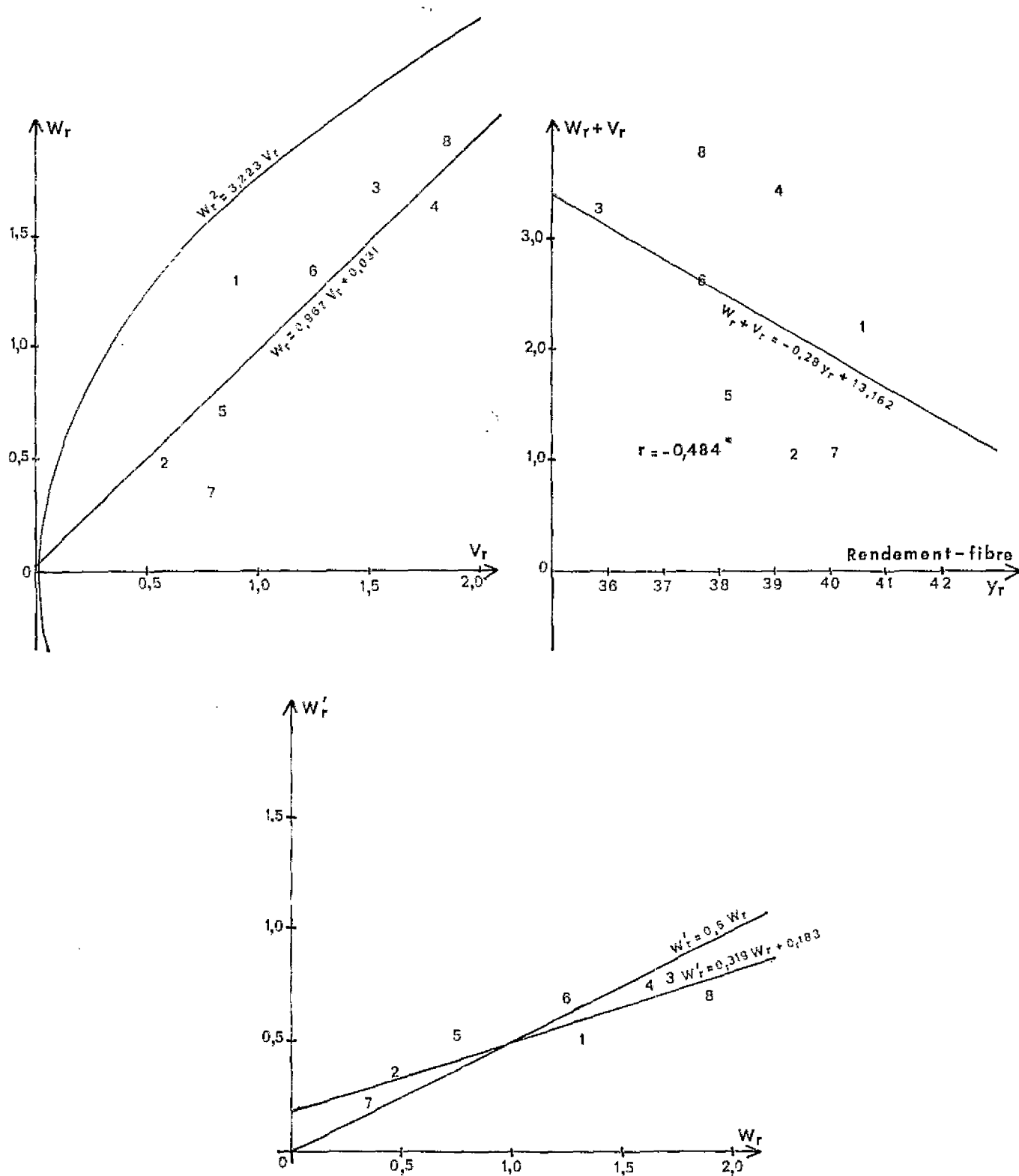


Fig. 1. — Analyse graphique du caractère. Rendement en fibre.

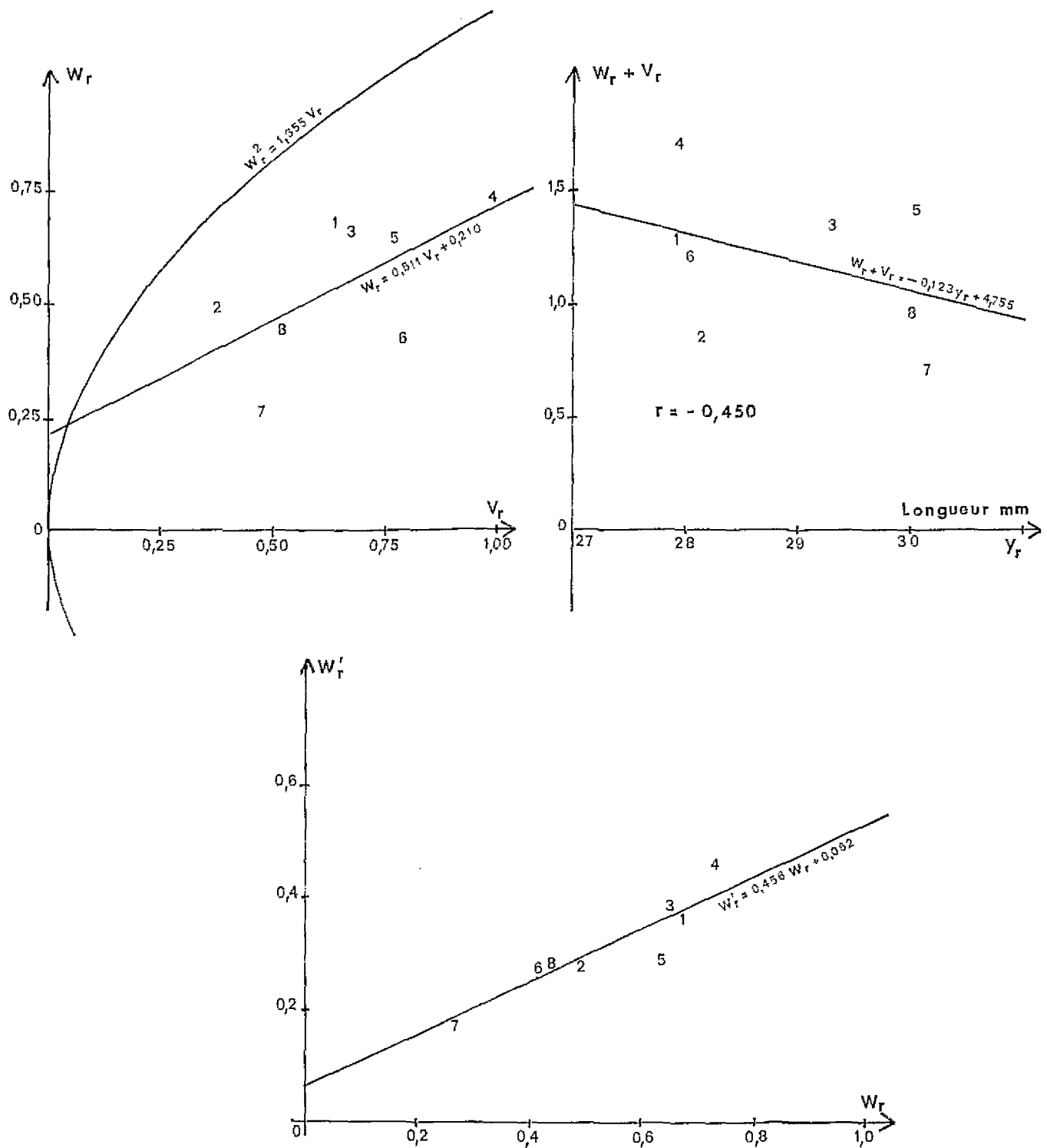


Fig. 2. — Analyse graphique du caractère. Longueur de la fibre.

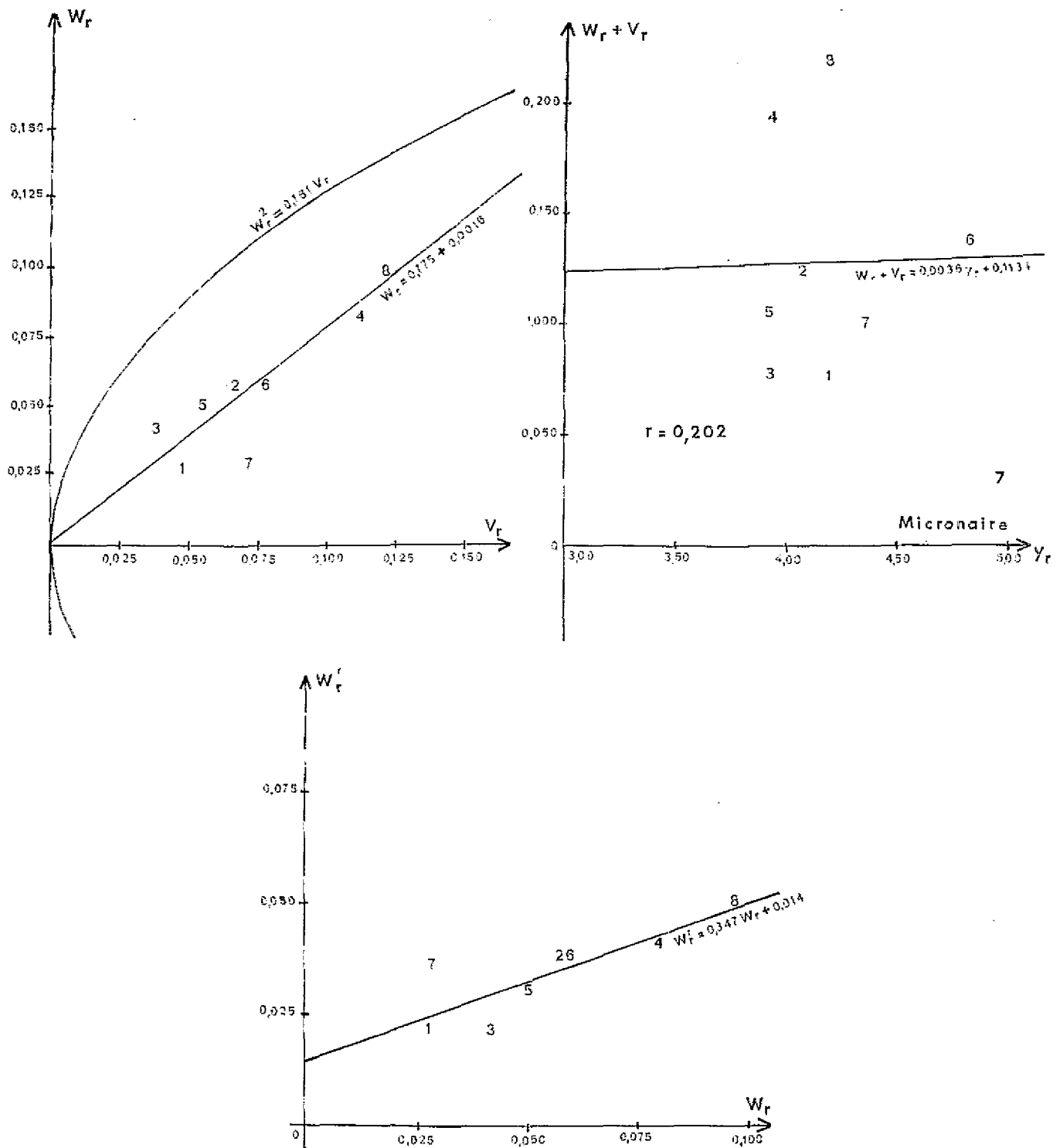


Fig. 3. — Analyse graphique du caractère. Micronaire.

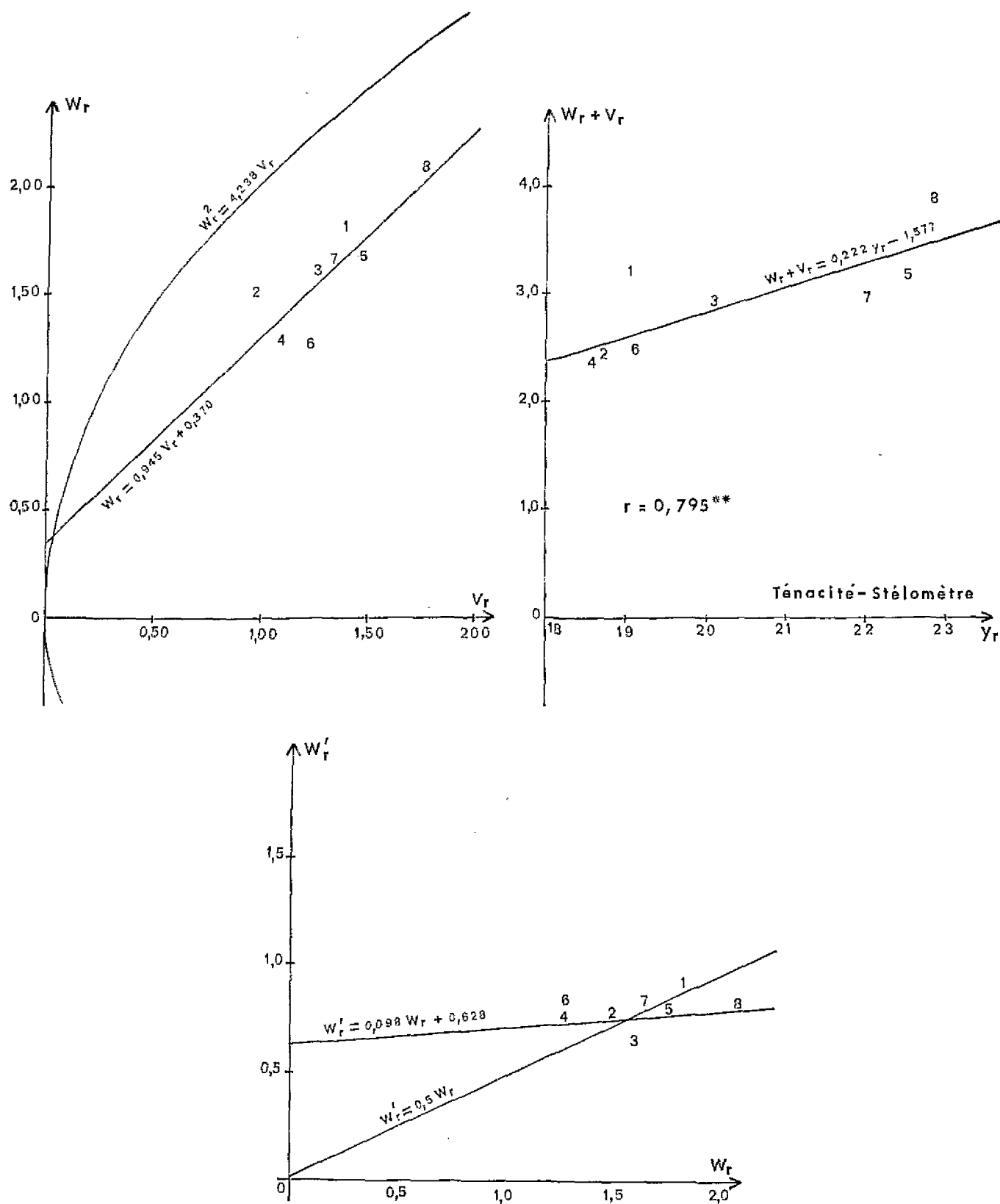


Fig. 4. — Analyse graphique du caractère. Ténacité mesurée au Stéломètre.

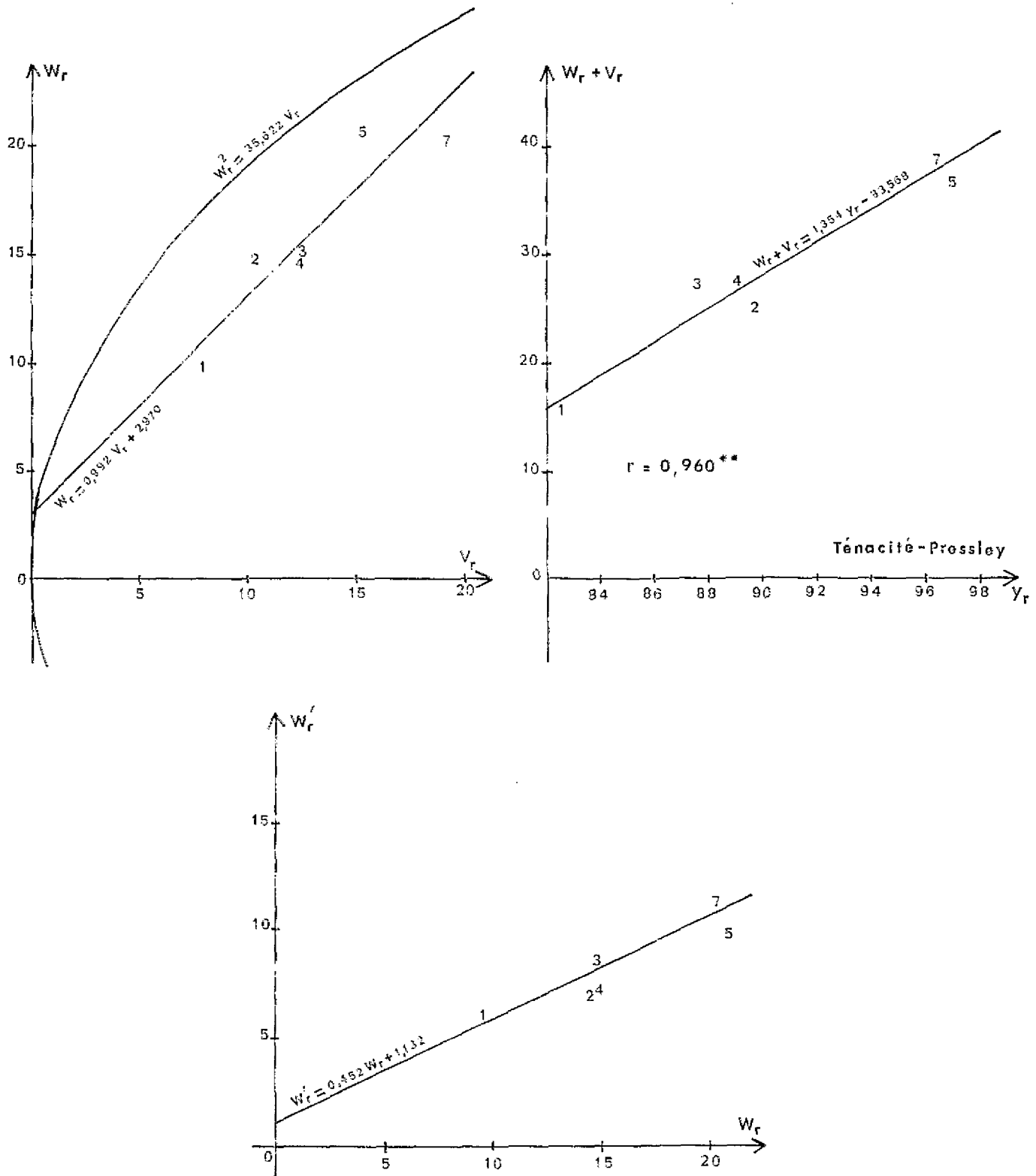


Fig. 5. — Analyse graphique du caractère. Ténacité mesurée au Pressley.

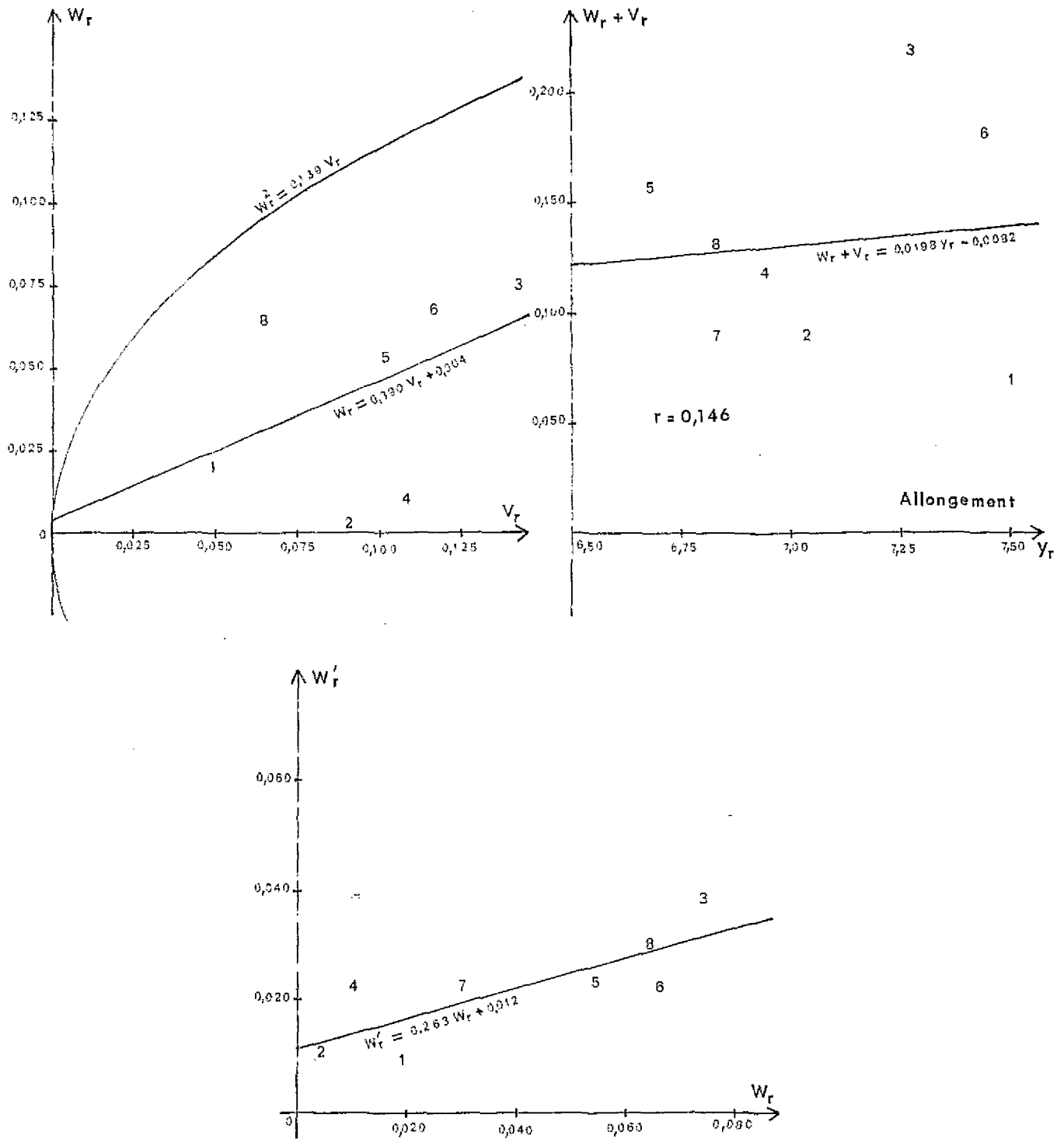


Fig. 6. — Analyse graphique du caractère, Allongement.